

(要約+請求の範囲)

- (19)【発行国】日本国特許庁(JP)
 (12)【公報種別】公開特許公報(A)
 (11)【公開番号】特開2000-185029(P2000-185029A)
 (43)【公開日】平成12年7月4日(2000. 7. 4)
 (54)【発明の名称】核スピン共鳴装置における渦電流を検出するための方法
 (51)【国際特許分類第7版】

A61B 5/055
 G01R 33/48

【FI】

A61B 5/05 341
 G01N 24/08 510 Y

【審査請求】未請求

【請求項の数】12

【出願形態】OL

【全頁数】7

(21)【出願番号】特願平11-363040

(22)【出願日】平成11年12月21日(1999. 12. 21)

(31)【優先権主張番号】19859501. 8

(32)【優先日】平成10年12月22日(1998. 12. 22)

(33)【優先権主張国】ドイツ(DE)

(71)【出願人】

【識別番号】390039413

【氏名又は名称】シーメンス アクチエンゲゼルシャフト

【氏名又は名称原語表記】SIEMENS AKTIENGESSELLSCHAFT

【住所又は居所】ドイツ連邦共和国 D-80333 ミュンヘン ヴィッテルスバッハープラッツ 2

(72)【発明者】

【氏名】フォルカー ワイセンベルガー

【住所又は居所】ドイツ連邦共和国 91096 メーレンドルフ ワッサーウェルクシュトラッセ 12

(74)【代理人】

【識別番号】100075166

【弁理士】

【氏名又は名称】山口 巖

(57)【要約】

【課題】核スピン共鳴装置のスウィッチングされる磁界勾配により惹起され、そして交差項を含んでいる渦電流を検出するための方法を、選択された層の中で短時間中に、少なくとも渦電流の交差項が決定できるように構成する。

【解決手段】下記の相続くステップ、即ち：a)空間的に広げられたファントムを核スピン共鳴装置の検査範囲の中に入れ、b)予め定められたパルス幅 t_G を有する測定勾配パルスGMをスイッチオンし、c)測定勾配パルスGMのスイッチオフの後に、間隔 t_1 、 t_2 、 t_n をおいて相続く少なくとも2つの撮像シーケンスブロックを発生させ、それらの撮像信号から少なくとも二次元の複素データセットを発生させ、その際に位相情報 $\phi_i(x, y)$ が磁界の強さ $B(x, y, t)$ に比例しているを含むことを特徴とする。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 核スピン共鳴装置のスイッチングされる磁界勾配により惹起され、交差項を含んでいる渦電流を検出するための方法において、下記の相続くステップ、即ち：a)空間的に広げられたファントムを核スピン共鳴装置の検査範囲の中に入れ、b)予め定めたパルス幅(t_G)を有する測定勾配パルス(GM)をスイッチオンし、c)測定勾配パルス(GM)のスイッチオフの後に、間隔(t_1 、 t_2 、 t_n)において相続く少なくとも2つの撮像シーケンスブロックを発生させ、それらの撮像信号から少なくとも二次元の複素データセットを発生させ、その際に生じる位相情報($\phi_1(x, y)$)が磁界の強さ($B(x, y, t)$)に比例しているを含んでいることを特徴とする方法。

【請求項2】 下記のその他の特徴、即ち：c)撮像シーケンスブロックとしての役割を、測定勾配パルス(GM)のスイッチオフの後に発生され、そして間隔(t_1 、 t_2 、 t_n)において相続く少なくとも2つの勾配エコーブロックが果たしており、その際に勾配エコーブロックの中に、c1)層選択勾配パルス幅(GS1、GS2、GSn)の作用のもとに第1の層選択HFパルス(RF1、RF2、RFn)が入射され、そしてc2)それにより発生され、撮像信号としての役割を果たす勾配エコー(S1、S2、Sn)が測定勾配パルス(GM)により惹起される渦電流(I_E)の減衰時間の間に検出され、その際c3)各々の勾配エコー(S1、S2、Sn)の前に位相コーディング勾配(GP1、GP2、GPn)が置かれ、c4)勾配エコー(S1、S2、Sn)が読出し勾配(GR1、GR2、GRn)のもとに位相コーディング勾配(GP1、GP2、GPn)に対して垂直な方向に読出され、d)ステップb)およびc)が引き続いてスイッチングされる位相コーディング勾配(GP1、GP2、GPn)により繰り返されるを含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項3】 下記のその他の特徴、即ち：e)ステップb)およびc)が、より高い次数の項を含んでいる渦電流を検出するため、選択された層の少なくとも1つの他の層により繰り返されるを含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項4】 下記のその他の特徴、即ち：e)ステップb)ないしd)が、より高い次数の項を含んでいる渦電流を検出するため、選択された層の少なくとも1つの他の層により繰り返されるを含んでいることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項5】 下記のその他の特徴、即ち：f)層選択勾配パルスに対して追加的に、付加的な位相コーディング勾配がスイッチングされるを含んでいることを特徴とする請求項2記載の方法。

【請求項6】 下記のその他の特徴、即ち：g)層選択勾配パルスの代わりに追加的な位相コーディング勾配がスイッチングされるを含んでいることを特徴とする請求項2記載の方法。

【請求項7】 下記のその他の特徴、即ち：h)多くの選択された層の勾配エコーブロックが互いの中に入り組んでいるを含んでいることを特徴とする請求項3または4記載の方法。

【請求項8】 下記のその他の特徴、即ち：i)求められた、撮像信号としての役割をする勾配エコー(S1、S2、Sn)から複数個(n)の二次元のデータセット(i)が求められ、これらの二次元のデータセットが二次元のフーリエ変換の後にファントムの相応する数(n)の複素二次元像を与え、その際にこの数(n)が勾配エコー-ブロックの数に相当するを含んでいることを特徴とする請求項2記載の方法。

【請求項9】 下記のその他の特徴、即ち：j)全ての複素データセット(i)が時点(t_i)で参照データセットにより、それから時点(t_i)での渦電流(I_E)の時間的低下を表す位相像が計算可能であるように、位相補正されるを含んでいることを特徴とする請求項8記載の方法。

【請求項10】 下記のその他の特徴、即ち：k)参照データセットとして、渦電流(I_E)がほぼ減衰しているデータセットが選ばれるを含んでいることを特徴とする請求項9記載の方法。

【請求項11】 下記のその他の特徴、即ち：l)渦電流(I_E)の非直線的な成分が球関数に従う磁界分布の展開から計算されるを含んでいることを特徴とする請求項8ないし10の1つに記載の方法。

【請求項12】 下記のその他の特徴、即ち：m)勾配チャンネルの中に発生される勾配パルスのフィルタリングによる渦電流(I_E)の非直線的な成分の補償が渦電流(I_E)を励起し、その際に、n)フィルタリングの結果として、両方の他方の勾配チャンネルおよび／または核スピン共鳴装置のシムコイルに与えられる補償パルスが得られるを含んでいることを特徴とする請求項8ないし11の1つに記載の方法。

詳細な説明

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、核スピン共鳴装置のスイッチングされる磁界勾配により惹起され、そして交差項を含んだ渦電流を検出するための方法に関する。

【0002】

【従来の技術】核スピン共鳴装置において勾配コイルにより惹起される渦電流を補償するための方法は、ドイツ特許出願公開第43 13 392号明細書に記載されている。勾配コイルは磁界勾配を発生するための役割をする。この磁界勾配は核スピントモグラフィの中において核共鳴信号位置分解を行うために必要である。そのために1テスラのオーダーの均等な静的な基本磁界に、この磁界勾配が重畳される。3つの次元での位置分解のためには、磁界勾配が3つの好ましくは互いに直交する方向に発生されなければならない。Y方向に磁界勾配 G_y を発生するための勾配コイルにより、球状の検査体積の中にY方向にほぼ一定な磁界勾配 G_y が発生される。X磁界勾配に対する勾配コイルは、Y磁界勾配に対する勾配コイルと同一に構成されており、また単に90°だけ方位角方向に回転されている。Z方向の磁界勾配に対する勾配コイルは、リング状に構成されそして検査対象物の中心点に対して対称に配置されており、その際に両方の個別コイルは、反対方向の電流により通過されており、またそれによりZ方向に磁界勾配を発生する。

【0003】必要な磁界勾配は急峻な上昇および下降エッジを有していなければならない、またスイッチオン継続時間の間、可能な限り一定でなければならない。しかし急峻な上昇および下降エッジにより核スピン共鳴装置の金属部分の中、特に検査空間を囲むクライオスタートの内管の中に渦電流が誘導され、これらの渦電流が再び磁界勾配と逆向きの磁界を発生する。このことは所望の方形パルスのかどを丸めることになり、そして磁界勾配のスイッチオフの後に減衰する寄生的な磁界を生じる。

【0004】渦電流により惹起される磁界 $B(t)$ の経過は下記のように表される： $B(t) = B_0(t) + G_x(t)x + G_y(t)y + G_z(t)z + O(t, x^2, y^2, z^2)$

ここで $B_0(t)$ は第0次の位置に無関係な項、 G_x 、 G_y 、 G_z は第1次の項そして $O(t, x^2, y^2, z^2)$ は第2次の項である。

【0005】その際に第1次の項 G_x 、 G_y 、 G_z が優勢である。これらのみが従来公知の渦電流補償の際に補償され、また正確に測定されなければならない。より高い次数の項、即ち第3次の項は従来公知の方法によっては補償され得ず、また中心からのより大きい間隔に対してのみ有意義である。第1次の位置に無関係な項 $B_0(t)$ は一般に小さく、また例えば磁石中の勾配コイルの非対称な配置に、または対称性を乱す他の作用に起因する。第0次および第1次の項を決定するためには、各々の方向 x 、 y 、 z に対する渦電流に起因した磁界を、各々の方向に、空間的に隔てられた2つの点において測定すれば十分である。

【0006】ドイツ特許出願公開第43 13 392号明細書による方法では、そのために核スピントモグラフの際に他の検査および設定目的にも使用できるような空間的に広げられたファントムが、核スピン共鳴装置の検査範囲の中に入れられ、また層選択MR法により測定される。ドイツ特許出願公開第43 13 392号明細書による方法により、渦電流補償が測定プローブおよび止め具のような特殊な装置なしに実行かつ検査可能である。この方法の取扱は、ファントムが測定のために動かされなくてよいので簡単である。さらに、簡単な方法で、例えば表面コイルのような追加的な組込物が、追加的な渦電流に通ずるかどうかなを確認可能である。しかしドイツ特許出願公開第43 13 392号明細書による方法は、より高い次数の項を決定するためには使用できない。

【0007】さらにヨーロッパ特許出願公開第0 228 056号明細書には、プローブの中に誘導される核共鳴信号により磁界分布を測定する方法が記載されている。検査空間の少なくとも2つの個所における磁界の測定が必要なので、各々の測定サイクル中に、プローブを2つの測定位置の間で往復させなければならない。より高い次数の渦電流を決定するためには、プローブを多くの測定位置に置かれなければならない、このことは非常に高い費用を必要とする。

【0008】ドイツ特許第43 25 031号明細書および米国特許第 4,910,460号明細書に記載されている方法では、渦電流を拡大したファントムにより、層選択MR撮像によって測定する。そこに記載されている方法は空間的な情報のみを与え、渦電流分布に関する時間的な情報は与えない。そのため、この方法は空間的な渦電流分布の像表示しかできず、また渦電流の補償のために必要な渦電流の時定数中の振幅の定量的な決定のためには適していない。

【0009】さらに雑誌“Magnetic Resonance in Medicine”、20、第2～284頁(1991)の論文“超伝導磁石の中に渦電流により発生される磁界の時間的および空間的解析:磁石/勾配システムの補正の最適化および定量的特徴付け”には、より高い次数の渦電流を定量的に決定するために適した方法が記載されている。ドイツ特許第43 25 031号明細書および米国特許第4,910,460号明細書による方法に類似して、勾配パルスに、渦電流に比例する位相位置を有する刺激されたエコーを発生する撮像シーケンスが続くことによって、渦電流が像として表示される。しかしその際、勾配パルスの後の、種々の時間的間隔での測定によって、渦電流の発生も時間的に測定できる。この方法の欠点は、フーリエ行あたり約5秒の撮像シーケンスの長い継続時間および勾配パルスの後の時間間隔であり、それによって少なくとも10分の測定時間が生ずる。シーケンスは、多くのステップで、しかも全ての3つの勾配で繰り返さなければならないので、1時間をはるかに越える全測定時間を必要とする。これは、補償のために日常的に実行する必要のあるこの方法にとって、本質的に長過ぎる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】従って、本発明の課題は、渦電流を検出するための方法を選択された層の中で短い時間中に、少なくとも渦電流の交差項が決定可能なように構成することである。

【0011】

【課題を解決するための手段】この課題は、本発明によれば、請求項1による方法により解決される。本発明による方法の有利な実施例はそれぞれその他の請求項の対象である。

【0012】請求項1による方法は下記の相続くステップ、即ち:a)空間的に広げられたファントムを核スピン共鳴装置の検査範囲の中に入れ、b)予め定められたパルス幅(t_G)を有する測定勾配パルス(GM)をスイッチオンし、c)測定勾配パルス(GM)のスイッチオフの後に、間隔(t_1 , t_2 , t_n)において相続く少なくとも2つの撮像シーケンスブロックが発生し、それらの撮像信号から少なくとも二次元の複素データセットを発生させ、その際に位相情報($\varphi_i(x, y)$)が磁界の強さ($B(x, y, t)$)に比例しているを含んでいる。

【0013】請求項1による方法は、選択された層の中における二次元の位置情報とならんで、渦電流の分布に関する時間的情報をも与える。それによって簡単かつ迅速な方法で、少なくとも渦電流の交差項が確実に決定される。

【0014】渦電流を検出するための最も簡単な可能性は、下記のその他の特徴、即ち:c)撮像シーケンスブロックとしての役割を、測定勾配パルス(GM)のスイッチオフの後に発生され、また間隔(t_1 , t_2 , t_n)において相続く少なくとも2つの勾配エコーブロックが果たしており、その際に勾配エコーブロックの中に、c1)層選択勾配パルス幅(GS1, GS2, GS_n)の作用のもとに第1の層選択HFパルス(RF1, RF2, RF_n)が入射され、またc2)それにより発生され、撮像信号としての役割をする勾配エコー(S1, S2, S_n)が測定勾配パルス(GM)により惹起される渦電流(I_E)の減衰時間の間に検出され、その際にc3)各々の勾配エコー(S1, S2, S_n)の前に位相コーディング勾配(GP1, GP2, GP_n)が置かれ、c4)勾配エコー(S1, S2, S_n)が読出し勾配(GR1, GR2, GR_n)のもとに、位相コーディング勾配(GP1, GP2, GP_n)に対して垂直な方向に読出され、d)ステップb)およびc)が引き続いてスイッチングされる位相コーディング勾配(GP1, GP2, GP_n)により繰り返されるを含んでいる請求項2の方法により与えられる。

【0015】請求項3による方法では、請求項1による方法のステップb)およびc)が、より高い次数の項を含んでいる渦電流を検出するため、選択された層の少なくとも1つの他の層により繰り返される。請求項4による方法では、請求項2による方法のステップb)ないしd)が、より高い次数の項を含んでいる渦電流を検出するため、選択された層の少なくとも1つの他の層により繰り返される。それにより、本発明による方法の両実施例において、渦電流の経過に関する時間的な情報に対して追加的に三次元の位置情報も得られる。渦電流分布に関するいまや空間的かつ時間的な情報に基づいて、交差項に対して追加的により高い次数の項も決定される。本発明による方法のこれらの実施例は、スイッチングされる磁界勾配により惹起されそして交差項およびより高い次数の項を含んでいる渦電流の本質的により速い検出を許すので、特に請求項3または4による方法は日常的な方法として使用可能である。

【0016】少なくとも2つの選択された層の測定の際に、第1次よりも高い次数の渦電流の検出が測定時間の延長なしに望まれているならば、例えば種々の層の勾配エコーブロックが互いの中に入り組んでいる請求項7による方法が応用される。

【0017】検出された渦電流から二次元の像を計算するための有利な方法は、請求項8および9に記載されている。

【0018】請求項11には、非直線的な渦電流成分を計算するための好ましい方法が記載されている。

【0019】これらの非直線的な渦電流成分を、例えばどのように補償すべきかは請求項12に記載されている。

【0020】

【実施例】本発明の好ましい実施例を、以下に図面を参照して説明する。

【0021】核スピン共鳴装置のスイッチングされる磁界勾配により惹起されそして交差項を含んでいる渦電流を検出するための図1で説明する方法では、先ず空間的に広げられたファントム、例えば240mmの直径を有する球状のファントムが核スピン共鳴装置の検査範囲の中に入れられる。続いて測定勾配パルスGMがより長い時間、例えば1ないし2秒間にわたりスイッチオンされる。測定勾配パルスGMは予め定められたパルス幅 t_G を有する。その際に測定勾配パルスGMのパルス幅 t_G は、好ましくは検査すべき渦電流時定数よりも長い。

【0022】測定勾配パルスGMのスイッチオフの後に、間隔 t_1 、 t_2 ないし t_n をおいて相続く少なくとも2つの勾配エコーブロックGE1、GE2ないしGEnが発生される。その際に最後の勾配エコーブロックGEnの間隔 t_n は、好ましくは測定勾配GMの全ての渦電流IEがほぼ減衰しているような大きさである(例えば1ないし5秒)。

【0023】各々の勾配エコーブロックGE1、GE2ないしGEn中に、層選択勾配パルスGS1、GS2ないしGSnの作用のもと、第1の層選択HFパルスRF1、RF2ないしRFnが入射される。層選択勾配パルスGS1、GS2ないしGSnの作用により、励起はファントムの層に制限される。続いて負の方向のリフェージング勾配GSによって、層選択勾配パルスGS1、GS2ないしGSnにより惹起された核スピンのデフェージングが取り消される。

【0024】第1の層選択HFパルスRF1、RF2ないしRFnの入射により発生された勾配エコーS1、S2ないしSnは、撮像信号としての役割をし、また測定勾配コイルGMにより惹起された渦電流IEの減衰時間の間に検出される。

【0025】勾配エコーS1、S2ないしSnを位相判別してサンプリングするため各勾配エコーS1、S2ないしSnの前に、位相コーディング勾配GP1、GP2、GPnが置かれる。位相コーディング勾配GP1、GP2、GPnと同時に、本発明による方法の図1で説明した実施例では、リフェージング勾配GSにより惹起された核スピンのデフェージングを取り消すために、デフェージング勾配GDがスイッチオンされる。

【0026】勾配エコーS1、S2ないしSnは、読出し勾配GR1、GR2ないしGRnの作用のもとに、位相コーディング勾配GP1、GP2、GPnに対して垂直な方向に読出される。

【0027】測定勾配コイルGMおよびn個の勾配エコーブロックGE1、GE2ないしGEnの列は、反復時間 T_R をもって繰り返され、その際に位相コーディング勾配GP1、GP2、GPnは次に進められる。

【0028】確認された勾配エコーS1、S2ないしSnから勾配エコーブロックGE1、GE2ないしGEnの数nに一致する数の二次元のデータセットiが確認され、これらのデータセットが二次元のフーリエ変換の後に相応の数nのファントムの複素二次元像を与える。

【0029】全ての複素データセットiは時点 t_i で参照データセットにより、 i セットから時点 t_i での渦電流IEの時間的低下を表す位相像が計算可能であるように、位相補正される。参照データセットとして、好ましくは渦電流がほぼ減衰し終えたデータセットが選ばれる。

【0030】座標(x, y)を有する各々のデータセットiに関し、各画素に対する位相位置 $\varphi_i(x, y)$ は、下記の式により与えられる:【数1】

$$\varphi_i(x, y) = \gamma \int_{t_i}^{t_i + T_i} B(x, y, t) dt + \varphi_0(x, y)$$

【0031】位相 $\varphi_i(x, y)$ は、こうして層選択のための高周波励起パルスRF1、RF2およびRFnと勾配エコーS1、S2ないしSnとの間の磁界Bに関する積分と、一定の位相誤差 $\varphi_0(x, y)$ との和に比例しており、その際に比例係数 γ は磁気回転定数である。

【0032】磁界 B は時間的に一定な磁界分布 B_0 と、測定勾配 GM から発生される時間的に変化する渦電流磁界 B_M と、勾配エコーブロック $GE1$ 、 $GE2$ ないし GEN 自体から発生される渦電流磁界 B_S とから成っている： $B(x, y, t) = B_0(x, y) + B_M(x, y, t) + B_S(x, y, t)$

【0033】座標 (x, y) を有する各々のデータセット i の位相位置 $\phi_i(x, y)$ に関して、次いで： $\phi_i(x, y) = \gamma(B_0(x, y) + B_M(x, y, t_i))T_E + \phi_0 + \phi_S(x, y)$

が得られる。

【0034】時間的に一定な磁界分布 B_0 および時間的に変化する渦電流磁界 B_M に関しては積分が、測定勾配パルス GM の渦電流 I_E がエコー時間 T_E の間にわたり一定であるという仮定のもとに計算された。勾配エコーブロック $GE1$ 、 $GE2$ ないし GEN 自体により生ずる位相成分 ϕ_S は全ての勾配エコーブロックに関して等しい。いま第 n 勾配エコー GEN を全ての他のものの位相補正のために使用すると、測定勾配パルス GM の渦電流磁界 B_S のみが残る： $\phi_i(x, y) - \phi_n(x, y) = \gamma B_M(x, y, t_i)T_E - \gamma B_M(x, y, t_n)T_E \doteq \gamma B_M(x, y, t_i)T_E$ 【0035】時間 t_n が渦電流 I_E の時定数に比べて大きいならば、位相差 $\Delta\phi_i$ は時点 t_i での渦電流 I_E に比例する。

【0036】いま時点 t_i での渦電流の画像を得るために、各複素二次元像が時点 t_n でのデータセットにより位相補正される。それから次いで、時点 t_n から t_{n-1} 迄の渦電流の時間的低下を表す位相像が計算される。

【0037】生ずる渦電流 I_E の非直線成分は、いま球関数に従う磁界分布の展開から計算できる。位相像は位相跳躍を有し得るので、一般に位相データへの直接的なデータフィットは可能でない。

【0038】評価の形式は、位相跳躍を公知の方法でデータセットから計算し、また次いで球関数に従う展開をフィットすることにある。

【0039】代替的な方法はドイツ特許第 195 11 791号明細書に記載されている。この方法では、データセットの隣接する画素の位相差が計算され、また球関数の空間的な導関数がフィット法により形成される。

【0040】その際両方の方法は、時点 t_i での球関数の係数を与える。これらの係数への時間的に低下する指数関数 $a \cdot \exp(-t/\tau)$ のフィットにより、各々の係数に対して振幅各々の時定数が得られる。

【0041】非直線的な渦電流成分の計算が終了すると、次いでこれらが補償される。好ましくは補償は、勾配チャンネルの中に発生する勾配パルスのフィルタリングにより行われ、それによってこれらの非直線的な渦電流の振幅および時定数が補償される。フィルタリングの結果として、補償パルスが得られ、この補償パルスが両方の他の勾配チャンネルおよび／または核スピン共鳴装置のシムコイルに与えられる。

【0042】渦電流の交差項は第1次の球関数により記述可能である。こうして、例えば x 勾配が z 勾配に相当する $A10$ 渦電流を発生する。文献中に記載されているように、このような項は相応の勾配(例ではこれは z 勾配)の逆パルスにより補償される。

【0043】渦電流の中のものより高い次数の項は、核スピン共鳴装置のシムコイルのパルスにより補償される。実際にはそのために、第2次および第3次の項に制限できる。なぜならば、より高い次数の項は小さい渦電流磁界しか生じないからである。

【0044】超伝導磁石を有する核スピン共鳴装置では、300ないし500msの時定数を有する寒冷シールドの中の渦電流が優勢である。すなわち測定勾配パルス GM は例えば2秒の長さを有するべきであろうし、また測定勾配パルス GM からの勾配エコーブロック GEN の間隔 t_n は3秒であるべきであろう。それによって反復時間 T_R に対して5秒の値が生ずる。ただ1つの時定数を決定するべきであれば、4つないし8つのデータセットで十分である。位相像はわずかなバリエーションを有するのみなので、 16×16 のマトリックスで十分であり、それによって80秒の測定時間が必要となる。

【0045】第2次までの渦電流を決定するためには、単に選択された層の測定では十分でなく、少なくとも1つの別の選択された層を測定しなければならない。両方の選択された層は、例えば ± 5 Ommの層のずれを持つ。

【0046】測定時間延長を避けるためには、勾配エコーブロックが互いの中に入り組んでいるべき

であろう。勾配エコーブロックの入り組みは、例えば最初に層1からのエコー1を、次いで層2からのエコー1を、次いで層1からのエコー2を、次いで層2からのエコー2を(以下同様に)測定することにより達成される。

【0047】本発明の範囲内で別のバリエーションが考えられる。例えば三次元の測定(渦電流の経過に関する時間的な情報および三次元の位置情報)が、選択方向の追加的な位相コーディング勾配により達成される。

【0048】さらに、位相補正を、最後の勾配エコー S_n により実行するのではなく、測定勾配GMが、例えば0または反転(負の測定勾配パルス)のように他の強さを有する追加的な測定により実行することも可能である。

【0049】さらに、測定勾配パルスGMは、必ずしも層選択勾配パルスGSでなくてもよい。測定勾配パルスGMは、本発明の範囲内で任意の方位を有し得る。

【0050】さらに、位相補正は、測定勾配パルスGMの前に位置する勾配エコーによっても行える。

【0051】さらに、読出し勾配GRの省略により、FID(free induction decay、自由な誘導崩壊)を発生させ、周波数または位相を評価し(時間情報)、そして二次元または三次元の位置情報を読出し方向の追加的な位相コーディング勾配により、相応に長い測定時間の際に発生させることができる。

【0052】以上に挙げた実施例から明らかなように、本発明による原理は多面的に構成される。こうして簡単な方法で、非常にわずかな時間費用により、上記渦電流の検出が行われる。追加的に、ごく僅かな時間を費やすことで、渦電流に関するその他の情報を得ることができる。

図の説明

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の好ましい実施例を説明するための線図である。

【符号の説明】

GD デフェーシング勾配

GE1、GE2、GEn 勾配エコー-ブロック

GM 測定勾配パルス

GP1、GP2、GPn 位相コーディング勾配

GR1、GR2、GRn 読出し勾配

GS1、GS2、GSn 層選択-勾配パルス

GS⁻ リフェーシング勾配

I_E 渦電流

RF1、RF2、RFn 層選択-HFパルス

S1、S2、Sn 勾配エコー(撮像信号)

t_1 、 t_1 、 t_n 間隔

t_E エコー時間

t_G パルス幅

T_R 反復時間、繰り返し時間

図面選択 図1

